

休廃止鉛山の廃鉛石を利用した CO₂固定と坑廃水発生抑制に関する基礎検討

共同実施者 東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻 高谷准教授

概 要

休廃止鉛山の坑廃水処理は半永久的に継続する必要がある、現在その処理コストが鉛害防止事業事業者の大きな負担となっている。また、一般的な坑廃水処理では電力の使用、薬剤の運搬等に大きなエネルギーを要しており、世界的にカーボンニュートラル(CN)社会の実現に向けた取り組みが求められる中、坑廃水処理についても例外ではなく、コスト削減はもとよりCNの観点に基づき対策を検討する必要がある。

本共同研究は、坑廃水処理での CN 達成に資する方策の検討にあたり、休廃止鉛山の集積場に集積されている廃鉛石と炭酸塩鉛物化(ミネラルカーボネーション)技術に着目し、種々の基礎試験及び連続溶出試験等を実施した。具体的には、炭酸塩鉛物を活用して坑廃水そのものの発生を抑制するにあたり、廃鉛石等からの金属溶出の抑制効果を確認するための連続溶出試験や、廃鉛石に対して CO₂を高圧条件で反応させることで炭酸塩鉛物化させる試験を実施した。

炭酸塩鉛物を活用した坑廃水発生抑制については、令和 4 年度には、一般的な休廃止鉛山の集積場の上部に石灰石を散布することを模し、水路の前段に石灰石を、後段に廃鉛石を配し雨水を想定した水を連続通水する試験を実施したところ、同抑制が可能であることが示唆された。令和 5 年度には、廃鉛石と石灰石とを混合して水路に配置し、令和 4 年度同様に雨水を想定した水を連続通水したところ、特に Zn や Pb の溶出が抑制される結果が得られた。また、複数の硫化鉛物が含まれるケースにおいては、ガルバニック反応によって一部の硫化鉛物の溶解が促進されることなどが確認された。

一方で、廃鉛石の炭酸塩鉛物化に関しては、令和 4 年度には廃鉛石を模擬した鉛石試料に対し、CO₂と高圧下で反応させることで試料中に CO₂が固定され、一部のケイ酸塩鉛物が炭酸塩鉛物化することを確認した。令和 5 年度にはさらに、炭酸塩鉛物化後の廃鉛石模擬試料を用いて連続溶出試験を実施した結果、元の試料と比較して、一部の金属の溶出が大幅に抑制されることが明らかとなった。同時に、Ca や Mg の溶出量が長期的に高く維持されることが明らかになった。

以上により、現場で廃鉛石の炭酸塩鉛物化を促進できれば、廃鉛石に雨水等が接触しても、有害元素の溶出が抑制できる可能性が示唆された。本結果から、炭酸塩鉛物化により CO₂が固定され、さらに坑廃水の発生そのものが抑制されることで、CN 社会の実現に資する方策としての可能性が見いだされた。

本共同研究は、これまでに 3 年間実施し、廃鉛石の炭酸塩鉛物化処理が坑廃水の発生源対策につながることを示されつつある。今後の課題として、炭酸塩鉛物の溶解が有害元素の溶出を抑制するメカニズムの解明に向けた取り組みをはじめ、大気圧に近い気圧条件下における廃鉛石の炭酸塩鉛物化処理の実用可能性等に関する実証を進めていく予定である。

マンガン含有坑廃水における生物処理の適用と汚泥の再利用化開発	
共同実施者	株式会社日本海水 環境営業部
概 要	
<p>国内の休廃止鉱山では、薬剤・電力・人力等を用いた坑廃水処理が一般的であり、多額の費用を要することが課題となっている。とりわけ、高濃度のマンガンを含む坑廃水については、水酸化物として処理するためには中和 pH を 10 以上に設定する必要があり、処理費用が高額になる傾向があることから、コスト低減に資する新規処理方法が求められている。最近ではマンガン酸化菌に関する研究が進められており、坑廃水に含まれるマンガンと同酸化菌を活用して酸化物として析出させるプロセスについての研究結果が報告されている。マンガン酸化物は一般的に中性で析出するため、マンガンの酸化を促進できれば、中和反応に必要な薬剤量を低減させることが可能になると考えられる。さらに、析出するマンガン酸化物を金属の吸着剤等として有効利用できれば、その処分に関するコストやエネルギー削減につながり、ひいてはカーボンニュートラルに資することが可能になると考えられる。本背景から、当該共同研究ではマンガン酸化菌に着目し、マンガン含有坑廃水の処理プロセスの効率化や、発生する汚泥(マンガン酸化物)の回収・有効利用のための方法を確立することを目的として、令和 4 年度から研究を実施した。</p> <p>令和 4 年度には、簡易的なバッチ試験を通して、対象としている鉱山現地からサンプリングした汚泥を坑廃水に接触させることで、坑廃水中のマンガン濃度が時間経過と共に減少することが明らかとなった。本結果から、同鉱山の坑廃水や汚泥に存在するマンガン酸化菌の働きによるものであると推測されたことから、令和 5 年度は同菌の酸化による処理性検証のための各種試験を実施した。</p> <p>本検証では、マンガン酸化菌を活用する処理プロセスの効率化の検討として、初めに鉱山現地からサンプリングした坑廃水中に存在するマンガン酸化菌の単離・同定を目的とした培養試験を実施した。令和 4 年度に実施した培養条件を改良した結果、坑廃水中に存在するマンガン酸化菌を特定することができた。次に、それらのマンガン酸化菌による酸化能を検証するため、カラムを用いた連続通水試験を実施したが、坑廃水中のマンガン濃度の顕著な低下は確認されなかった。本試験では系内でマンガン酸化菌が定着しなかったと考えられ、今後の課題としてマンガン酸化菌が定着しやすい環境条件を整える等の前処理が必要であることが明らかとなった。</p> <p>汚泥の有効利用の観点においては、鉱山現地と上述の通水試験から採取したそれぞれの汚泥(マンガン酸化物と考えられる)による吸着試験により、両サンプルが 5 価のヒ素の吸着能を有する可能性が示唆された。</p> <p>本研究では、鉱山現地からサンプリングした坑廃水や汚泥中に存在するマンガン酸化菌は特定できたものの、それらが高濃度のマンガンを含む坑廃水において酸化物として析出させるプロセスにて有効に機能しうるかどうかについて明らかにするまでには至らなかった。一方で、鉱山現地や通水試験で得られた汚泥は 5 価のヒ素を吸着する可能性が示唆されたため、マンガン酸化菌が定着しやすい環境条件を構築できれば、同酸化菌を活用してマンガン酸化物を析出させ、それを有害元素の吸着剤として有効利用するシナリオを描くことができた。2 年にわたる調査研究で得られた成果を踏まえ、マンガン酸化菌の定着に適した環境条件の整理や、実際の処理性能等に関する検討を引き続き進めていく予定である。</p>	